

PATENTOVÝ SPIS

(11) Číslo dokumentu:

306 837

(13) Druh dokumentu: **B6**

(51) Int. Cl.:

A62D 3/00 (2006.01)
A62D 3/34 (2007.01)
A62D 3/11 (2007.01)
A62D 3/115 (2007.01)
B82B 3/00 (2006.01)
B82Y 30/00 (2011.01)

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLVÉHO
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: **2015-785**
(22) Přihlášeno: **05.11.2015**
(40) Zveřejněno: **31.05.2017**
(Věstník č. 22/2017)
(47) Uděleno: **21.06.2017**
(24) Oznámení o udělení ve věstníku: **02.08.2017**
(Věstník č. 31/2017)

(56) Relevantní dokumenty:

CZ 304152; CZ 305170.

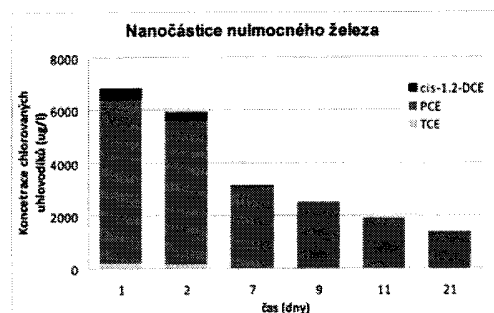
(73) Majitel patentu:
Technická univerzita v Liberci, Liberec, CZ

(72) Původce:
RNDr. Petr Kvapil, Ph.D., Liberec 19, CZ
prof. Dr. Ing. Miroslav Černík, CSc., Liberec 7, CZ
Ing. Jaroslav Nosek, Ph.D., Liberec 1, CZ

(74) Zástupce:
Ing. Dobroslav Musil, patentová kancelář, Ing.
Dobroslav Musil, Zábrdovická 11, 615 00 Brno

(54) Název vynálezu:
**Způsob in-situ sanace horninového
prostředí kontaminovaného škodlivými
chemickými sloučeninami**

(57) Anotace:
Způsob in-situ sanace horninového prostředí
kontaminovaného škodlivými chemickými sloučeninami,
u kterého se do tohoto horninového prostředí alespoň
jedním aplikačním vrtem aplikuje vodná suspenze
obsahující v poměru 1:9 až 1:1 nanočástice a
mikročástice nulmocného železa. V případě potřeby je
možné do horninového prostředí také přivádět
stejněsměrný elektrický proud.



CZ 306837 B6

Způsob in-situ sanace horninového prostředí kontaminovaného škodlivými chemickými sloučeninami

5 Oblast techniky

Vynález se týká způsobu in-situ sanace horninového prostředí kontaminovaného škodlivými chemickými sloučeninami.

10

Dosavadní stav techniky

Přibližně od 70. let 20. století je známá vysoká reaktivita nulmocného železa a jeho schopnost rozkládat řadu škodlivých chemických sloučenin, např. i chlorovaných etylenů (chlorovaných uhlovodíků). Díky ní se nulmocné železo, zejména ve formě levného odpadu ze zpracování železných výrobků, tj. např. špon, pilin, apod., v současné době používá mj. i pro vytváření permeabilních reaktivních bariér pro in-situ sanaci horninového prostředí kontaminovaného těmito chemickými sloučeninami. Jeho výhodou je, že se, na rozdíl od jiných sanačních činidel, jedná o přirozenou látku, která je v horninovém prostředí již běžně obsažená, takže jeho aplikací nedochází k sekundární kontaminaci tohoto prostředí, ani ke vzniku jiných nežádoucích rizik, např. uvolňování těžkých kovů apod. Nevýhodou použití nulmocného železa v této formě však je to, že uložení potřebného množství – obvykle stovky kg, případně i více – do horninového prostředí vyžaduje poměrně rozsáhlé zemní práce.

Tuto nevýhodu je možné eliminovat použitím nulmocného železa ve formě nanočástic, které lze do horninového prostředí aplikovat jednoduše a rychle prostřednictvím i jen jednoho aplikačního vrtu, např. ve formě vodné suspenze. Jejich další výhodou je, že díky svému velmi vysokému měrnému povrchu (až desítky m²/g) dosahují až o několik řádů vyšší reaktivity než železné piliny, a současně jsou díky svým malým rozměrům schopny se pohybovat horninovým prostředím, resp. jeho póry, např. vlivem proudění vody, ve které se aplikují a/nebo podzemní vody. V důsledku toho je možné i při použití menšího množství nulmocného železa dosáhnout předem stanovených limitů sanace, resp. předem stanoveného snížení kontaminace podstatně rychleji a/nebo ve větším objemu horninového prostředí.

V praxi se však ukazuje, že účinnost použití nanočástic nulmocného železa zásadním způsobem závisí na charakteru nanočástic resp. jejich povrchové úpravě, způsobu jejich aplikace do horninového prostředí a na typu tohoto prostředí. V případě vodné suspenze s příliš velkou koncentrací nanočástic (cca od několika g/l) totiž dochází již během její aplikace vlivem elektrostatických a magnetických sil působících mezi jednotlivými nanočásticemi k jejich shlukování do větších agregátů, které buď rychle sedimentují na dno aplikačního vrtu a nejsou tedy efektivně využity, a/nebo ucpávají volné prostory, resp. póry horninového prostředí a brání tak pohybu menších agregátů nebo samostatných nanočástic železa. V případě aplikace do horninového prostředí s nízkou propustností, např. do prostředí s větším obsahem jílu, se navíc i samostatné nanočástice železa v tomto prostředí pohybují pouze na velmi malou vzdálenost v řádu jednotek centimetrů, takže se využije pouze zlomek jejich potenciálu.

K odstranění těchto problémů a na podporu pohybu nanočástic horninovým prostředím byla vyvinuta metoda popsaná např. v publikaci Klimková, Š.; Nosek, J.; Černík, M.: "Výzkum transportu povrchově aktivních směsí nanoželeza", Inovativní sanační technologie ve výzkumu a praxi, Žďár nad Sázavou, ČR, 8.–9.10.2008, ISBN 978–80–86832–37–1, která je založená na potlačení shlukování nanočástic nulmocného železa modifikací (pasivací) jejich povrchu prostřednictvím látky snižující jejich povrchový náboj, jako např. kyseliny polymaleinové, nebo anorganického a/nebo biodegradovatelného organického stabilizátoru. Nevýhodou tohoto postupu je nutnost použití, resp. aplikace této chemické látky do aplikačního vrtu, díky čemuž se do značné míry omezuje jedna z podstatných výhod nulmocného železa, kterou je jeho ekologická

nezávadnost, a současně roste finanční i časová náročnost sanace. Další nevýhodou je i to, že používané látky shlukování nanočástic železa nebrání dostatečně účinně a dlouhodobě.

Po aplikaci nanočástic nulmocného železa, a to i nanočástic s modifikovaným povrchem, dochází v horninovém prostředí poměrně rychle k oxidaci jejich povrchové vrstvy na oxidy a hydroxid-
 5 oxidy železa, díky čemuž klesá jejich reaktivita a v důsledku toho i celková účinnost sanačního zásahu. Z tohoto důvodu navrhuje např. publikace ZHANG, W. X., WANG CH. B., LIEN, H. L: "Treatment of chlorinated organic contaminants with nanoscale bimetallic particles", *Catalysis Today Volume*, 1998, vol. 40, no. 4, p. 387–395 použití bimetalových nanočástic, které kromě
 10 nulmocného železa obsahují přídavek ušlechtilého kovu, jako například paladia, hliníku, směsi hliníku a mědi, směsi paladia a zinku, apod. Jejich nevýhodou je však velmi omezená možnost pohybu horninovým prostředím, která je způsobená jejich vysokou reaktivitou.

Z CZ 304152 je pak známý způsob in-situ sanace horninového prostředí, u kterého se před
 15 a/nebo během a/nebo po aplikaci vodné suspenze nanočástic nulmocného železa do horninového prostředí prostřednictvím alespoň jedné anody a alespoň jedné katody (kterou může být např. i kovová pažnice aplikačního vrtu), začne přivádět stejnosměrný elektrický proud, přičemž se mezi alespoň jednou anodou a alespoň jednou katodou vytvoří elektrické pole s intenzitou 0,5 až 100 V/m. V důsledku toho pak v blízkosti katody dochází k redukci okolní vody a H^+ iontů
 20 a zvýšení pH, což má za následek nárůst záporného zeta-potenciálu nanočástic nulmocného železa obsažených v této vodě, díky čemuž se tyto nanočástice odpuzují navzájem od sebe i od okolního horninového prostředí, což brání jejich shlukování do agregátů a jejich zachytu na horninové prostředí, a podporuje jejich pohyb s podzemní vodou. Stejnosměrným elektrickým proudem přiváděné volné elektrony mají navíc potlačovat oxidaci povrchu nanočástic nulmocného železa
 25 a podporovat a prodlužovat tak jejich reaktivitu.

Jak se však ukazuje v praxi, i při přivádění stejnosměrného elektrického proudu nanočástice nulmocného železa díky svým velmi malým rozměrům poměrně rychle oxidují a ztrácí svoji reaktivitu. Další nevýhodou jejich použití je také jejich vysoká cena, která podstatně ovlivňuje celkové
 30 náklady na sanaci horninového prostředí.

Cílem vynálezu je navrhnout způsob in-situ sanace horninového prostředí kontaminovaného škodlivými chemickými sloučeninami, který využil výhodných vlastností nulmocného železa, ale současně by efektivně odstranil jak nevýhody spojené s použitím železných pilin, tak i nevýhody
 35 spojené s použitím nanočástic nulmocného železa.

Podstata vynálezu

Cíle vynálezu se dosáhne způsobem in-situ sanace horninového prostředí kontaminovaného škodlivými chemickými sloučeninami, jehož podstata spočívá v tom, že se do kontaminovaného
 40 horninového prostředí alespoň jedním aplikačním vrtem aplikuje vodná suspenze obsahující nanočástice a mikročástice nulmocného železa v poměru 1:9 až 1:1. Nanočástice nulmocného železa přitom zajistí rychlý náběh sanace, mikročástice nulmocného železa pak její dlouhodobost,
 45 neboť díky násobně většímu objemu (a tedy i měrnému povrchu), oxidují podstatně pomaleji než nanočástice. Tato směs přitom překvapivě dosahuje v podstatě shodné reaktivity jako samotné nanočástice nulmocného železa, avšak při nákladech sanace nižších minimálně o 50 %.

Nanočástice nulmocného železa přitom mají s výhodou velikost 50 až 250 nanometrů, mikro-
 50 částice nulmocného železa pak 10 až 350 mikrometrů.

Pro zabránění shlukování nanočástic a/nebo mikročástic nulmocného železa do větších aglomerátů je výhodné, pokud se před jejich aplikací do horninového prostředí nebo během ní sníží jejich povrchový náboj modifikací jejich povrchu kyselinou polymaleinovou, anorganickým
 55 a/nebo biodegradovatelným organickým stabilizátorem, nebo řízenou oxidací.

V případě potřeby, např. při sanaci méně propustného horninového prostředí a/nebo pro zvětšení objemu horninového prostředí, ve kterém sanace probíhá a/nebo pro dosažení její vyšší efektivity je výhodné, pokud se před a/nebo během a/nebo po aplikaci vodné suspenze, která obsahuje nanočástice a mikročástice nulmocného železa do horninového začne přivádět stejnosměrný elektrický proud, přičemž se mezi alespoň jednou anodou a alespoň jednou katodou vytvoří elektrické pole s intenzitou 0,5 až 100 V/m. V tomto případě dochází v blízkosti katody k redukci okolní vody a H^+ iontů a zvýšení pH, což má za následek nárůst záporného zeta-potenciálu nanočástic a mikročástic nulmocného železa obsažených v této vodě, díky čemuž se tyto nanočástice a mikročástice odpuzují navzájem od sebe i od okolního horninového prostředí, což brání jejich shlukování do agregátů a jejich zachytu na horninové prostředí, a podporuje jejich pohyb s podzemní vodou. Stejnosměrným elektrickým proudem přiváděné volné elektrony současně potlačují oxidaci povrchu nanočástic a mikročástic nulmocného železa, čímž podporují a prodlužují jejich reaktivitu.

Po průniku nanočástic a mikročástic nulmocného železa do předem zvoleného místa horninového prostředí je možné jejich pohyb zastavit nebo omezit a tyto nanočástice a mikročástice na tomto místě stabilizovat, když se elektrostatické síly působící na nanočástice a mikročástice nulmocného železa uvedou nastavením přiváděného stejnosměrného elektrického proudu do rovnováhy se silami, kterými na ně působí proudící podzemní voda.

Objasnění výkresů

Na přiložených výkresech jsou na obr. 1a až 1d grafy znázorňující změnu množství chlorovaných etylenů (uhlovodíků) během reaktorových testů při použití nanočástic nulmocného železa – obr. 1a, nanočástic nulmocného železa povrchově modifikovaných kyselinou akrylovou – obr. 1b, směsi nanočástic nulmocného železa povrchově modifikovaných kyselinou akrylovou a mikročástic nulmocného železa v poměru 1:2 – obr. 1c, a směsi nanočástic nulmocného železa povrchově modifikovaných kyselinou akrylovou a mikročástic nulmocného železa v poměru 1:2 s přívodem stejnosměrného elektrického proudu – obr. 1d, při výchozí koncentraci chlorovaných etylenů (uhlovodíků) 11 mg/l. Na obr. 2a až 2c grafy znázorňující změnu množství chlorovaných etylenů (uhlovodíků) během reaktorových testů při použití nanočástic nulmocného železa – obr. 2a, směsi nanočástic a mikročástic nulmocného železa v poměru 1:2 – obr. 2b, a směsi nanočástic a mikročástic nulmocného železa v poměru 1:2 s přívodem stejnosměrného elektrického proudu – obr. 2c, při výchozí koncentraci chlorovaných etylenů (uhlovodíků) 36 mg/l.

Příklady uskutečnění vynálezu

Způsob in-situ sanace horninového prostředí podle vynálezu je založen na použití vodné suspenze, která obsahuje nanočástice a současně i mikročástice nulmocného železa, ve vzájemném poměru 1:9 až 1:1, a která se aplikuje alespoň jedním aplikačním vrtem (gravitačně nebo výhodněji tlakově) do horninového prostředí kontaminovaného škodlivými chemickými sloučeninami. Tato suspenze přitom v důsledku elevace hladiny, resp. přetlaku v místě aplikace, a případně i proudění podzemní vody, proniká prostřednictvím přirozených volných prostorů, resp. pórů v horninovém prostředí do jeho vnitřní struktury, přičemž nanočástice a mikročástice nulmocného železa působí jako redukční činidlo a reagují se škodlivými chemickými sloučeninami, vč. chlorovaných etylenů (uhlovodíků), se kterými se dostávají do kontaktu, a které známým způsobem rozkládají na méně škodlivé a/nebo neškodlivé látky.

Mikročástice nulmocného železa přitom mají s výhodou velikost 50 až 250 nanometrů; mikročástice nulmocného železa pak 10 až 350 mikrometrů.

Jak se prokázalo během reaktorových testů (viz níže), přítomnost relativně velkého podílu mikročastic nulmocného železa překvapivě nijak zásadně nesnižuje reaktivitu této směsi a účinnost sanace, přitom však vede k podstatnému snížení nákladů na sanaci (dle způsobu aplikace, charakteru použitých nanočastic a mikročastic a horninového prostředí o 50 až 80 %). Např. při použití směsi obsahující nanočastice nulmocného železa a mikročastice nulmocného železa v poměru 1:2 se dosáhne ve srovnání se stejným množstvím nanočastic nulmocného železa reaktivity nižší pouze o cca 10 %, avšak při současném prodloužení doby, po kterou jsou nanočastice a zejména mikročastice v horninovém prostředí reaktivní a snížení materiálových nákladů sanace o cca 70 %. Pokud by se zvýšilo množství aplikovaných nanočastic a mikročastic nulmocného železa tak, aby se dosáhlo stejné reaktivity jako v případě samotných nanočastic nulmocného železa, snížení materiálových nákladů sanace by bylo cca 55 %. Směs nanočastic a mikročastic nulmocného železa navíc zajišťuje vyrovnanější a dlouhodobější průběh sanace, neboť nanočastice zajistí její rychlý náběh, a mikročastice prodlouží dobu, po kterou dochází k rozkládání kontaminantů (neboť díky jejich násobně menšímu měrnému povrchu trvá déle, než dojde k jejich úplné oxidaci a ztrátě reaktivity).

V případě potřeby je výhodné, pokud se nanočasticím a/nebo mikročasticím nulmocného železa před jejich aplikací do horninového prostředí a/nebo během ní sníží povrchový náboj jejich povrchovou modifikací (pasivací) kyselinou polymaleinovou, anorganickým a/nebo biodegradovatelným organickým stabilizátorem (např. axilátem, resp. kyselinou polyakrylovou), nebo řízenou oxidací, případně jiným známým způsobem.

Pro zlepšení průniku nanočastic a mikročastic nulmocného železa do horninového prostředí se do horninového prostředí s výhodou prostřednictvím alespoň jedné katody (elektrody propojené se záporným pólem zdroje stejnosměrného napětí) a alespoň jedné anody (elektrody propojené s kladným pólem zdroje stejnosměrného napětí) před a/nebo během a/nebo po aplikaci vodné suspenze, která obsahuje nanočastice a mikročastice nulmocného železa, začne přivádět stejnosměrný elektrický proud. V důsledku toho dochází v okolí katody, která je s výhodou umístěna v aplikačním vrtu, případně jí je přímo kovová pažnice aplikačního vrtu, k redukci okolní vody, tj. vody obsažené v aplikované vodné suspenzi a podzemní vody a H^+ iontů, což má za následek zvýšení pH, které dále vede ke zvýšení záporného zeta-potenciálu nanočastic a mikročastic nulmocného železa nacházejících se v této vodě. Díky tomu se jednotlivé nanočastice a mikročastice nulmocného železa začnou více odpuzovat, a to nejen mezi sebou, což brání jejich shlukování, a způsobuje rozpad případně vytvořených agregátů, ale i od horninového prostředí, které má přirozený záporný elektrický náboj, což brání jejich sorpci na něj. V důsledku toho se tyto nanočastice a mikročastice, jejichž pohyb je primárně způsoben prouděním podzemní vody a podporován vznikajícím elektroosmotickým tokem, podstatně lépe a ochotněji pohybují horninovým prostředím směrem od katody, resp. od místa aplikace. Nanočastice i mikročastice nulmocného železa tak pronikají do podstatně většího objemu horninového prostředí, a to i v případě horninového prostředí s malou prostupností a/nebo při aplikaci vodné suspenze s vyšší koncentrací nanočastic a mikročastic. Výsledkem tak je lepší prostorové rozmístění těchto nanočastic a mikročastic v horninovém prostředí, díky kterému lze pro sanaci horninového prostředí použít menší množství nanočastic a mikročastic nulmocného železa, resp. hrubší síť aplikačních vrtů.

Další výhodou je pak i to, že vlivem zachytu elektronů dodávaných stejnosměrným elektrickým proudem do horninového prostředí dochází k potlačení oxidace povrchu nanočastic a mikročastic nulmocného železa a k redukci oxidačních produktů vznikajících na jejich povrchu, a v důsledku toho k zachování jejich vysoké reaktivity po dlouhou dobu. Díky tomu se dále výrazně snižuje množství nanočastic a mikročastic nulmocného železa potřebné pro dosažení požadovaného sanačního účinku a/nebo zkracuje čas nutný pro dosažení předem stanovených limitů sanace a/nebo se těchto limitů dosahuje ve větším objemu horninového prostředí. Další výhodou přivádění stejnosměrného elektrického proudu do horninového prostředí je i to, že tento proud může způsobovat nebo alespoň napomáhat rozkladu některých kontaminantů, vč. chlorovaných etylenů (uhlovodíků), aniž by přitom kontaminoval horninové prostředí, nebo zvyšoval rizika jeho kontaminace např. uvolňováním těžkých kovů, apod.

Při dlouhodobém provádění tohoto způsobu je výhodné, pokud se alespoň jedna anoda a alespoň jedna katoda alespoň jedenkrát přepólují, čímž se prodlouží jejich životnost, neboť se omezí odběr materiálu z katody.

5

V případě potřeby je možné nastavením parametru přiváděného stejnosměrného elektrického proudu uvést elektrostatické síly působící na nanočástice a mikročástice nulmocného železa do rovnováhy se silami, kterými na ně působí proudící podzemní voda, a tím tyto nanočástice a mikročástice stabilizovat na předem zvoleném místě horninového prostředí.

10

Vodná suspenze, která obsahuje nanočástice a mikročástice nulmocného železa se přitom buď připraví předem, nebo se vytvoří až smícháním vodné suspenze nanočástic a vodné suspenze mikročástic během aplikace do horninového prostředí.

15

Níže jsou uvedeny dva příklady, které srovnávají výsledky reaktorových testů při použití směsi tvořené nanočásticemi a mikročásticemi nulmocného železa v poměru 1:2, a při použití samotných nanočástic nulmocného železa (případně povrchově modifikovaných).

20

Příklad 1

Míchaný reaktor o objemu 2,5 l se naplnil vodou obsahující chlorované etyleny (uhlovodíky) v sumární koncentraci 11 mg/l. Poté se do tohoto reaktoru přidalo sanační činidlo, kterým byly v prvním případě nanočástice nulmocného železa, ve druhém případě nanočástice nulmocného železa povrchově modifikované kyselinou akrylovou, ve třetím případě směs nanočástic nulmocného železa povrchově modifikovaných kyselinou akrylovou a mikročástic nulmocného železa v poměru 1:2, a ve čtvrtém případě směs nanočástic nulmocného železa povrchově modifikovaných kyselinou akrylovou a mikročástic nulmocného železa v poměru 1:2, doplněná po celou dobu experimentu o přívod stejnosměrného elektrického proudu s elektrickým potenciálem 50 V/m, které se do reaktoru přivádělo prostřednictvím dvou ocelových elektrod tvořených tyčemi o průměru 8 mm. Ve všech případech se do reaktorů vložily nanočástice, resp. směs nanočástic a mikročástic nulmocného železa v koncentraci 2 g/l.

U všech reaktorů se dlouhodobě sledovaly fyzikálně-chemické parametry v nich obsažené vody, koncentrace chlorovaných etylenů (uhlovodíků), a koncentrace anionů, přičemž na obr. 1a až 1d jsou uvedeny grafy znázorňující změnu množství chlorovaných etylenů (uhlovodíků) v těchto reaktorech v čase, při použití nanočástic nulmocného železa (obr. 1a), nanočástic nulmocného železa povrchově modifikovaných kyselinou akrylovou (obr. 1b), směsi nanočástic nulmocného železa povrchově modifikovaných kyselinou akrylovou a mikročástic nulmocného železa v poměru 1:2 (obr. 1c), a směsi nanočástic nulmocného železa povrchově modifikovaných kyselinou akrylovou a mikročástic nulmocného železa v poměru 1:2 s přívodem stejnosměrného elektrického proudu (obr. 1d). V tabulce 1 je pak vyjádřena účinnost jednotlivých sanačních činidel, vztažená k účinnosti nanočástic nulmocného železa bez povrchové modifikace.

45

Tabulka 1

Sanační činidlo	Účinnost odstranění chlorovaných etylenů vztažená k účinnosti odstranění chlorovaných etylenů s použitím nanočástic nulmocného železa bez povrchové modifikace		
	Cis-1,2-dichloretylen (cis-1,2-DCE)	Perchloretylen (PCE)	Trichloretylen (TCE)
Nanočástice nulmocného železa	100	100	100
Nanočástice nulmocného železa	90	87	94
povrchově modifikované kyselinou akrylovou			
Nanočástice nulmocného železa povrchově modifikované kyselinou akrylovou a mikročástice nulmocného železa (poměr 1:2)	100	62	97
Nanočástice nulmocného železa povrchově modifikované kyselinou akrylovou a mikročástice nulmocného železa (poměr 1:2) + přívod stejnoseměrného elektrického proudu (elektrický potenciál 50 V/m)	100	168	108

5

Příklad 2

- 10 Míchavý reaktor o objemu 2,5 l se naplnil vodou obsahující chlorované etyleny (uhlovodíky) v sumární koncentraci 36 mg/l. Poté se do tohoto reaktoru přidalo sanační činidlo, kterým byly v prvním případě nanočástice nulmocného železa, ve druhém případě směs nanočástic nulmocného železa a mikročástic nulmocného železa v poměru 1:2, a ve třetím případě směs nanočástic nulmocného železa a mikročástic nulmocného železa v poměru 1:2, doplněná po celou dobu
- 15 experimentu o přívod stejnosměrného elektrického proudu s elektrickým potenciálem 50 V/m, které se do reaktoru přivádělo prostřednictvím dvou ocelových elektrod tvořených tyčemi o průměru 8 mm. Ve všech případech se do reaktorů vložily nanočástice, resp. směs nanočástic a mikročástic nulmocného železa v koncentraci 5 g/l.
- 20 U všech reaktorů se dlouhodobě sledovaly fyzikálně-chemické parametry v nich obsažené vody, koncentrace chlorovaných etylenů (uhlovodíků), a koncentrace anionů, přičemž na obr. 2a až 2c jsou uvedeny grafy znázorňující změnu množství chlorovaných etylenů (uhlovodíků) v těchto reaktorech v čase, při použití nanočástic nulmocného železa (obr. 2a), směsi nanočástic a mikročástic nulmocného železa v poměru 1:2 (obr. 2b), a směsi nanočástic a mikročástic nulmocného

železa v poměr 1:2 s přívodem stejnosměrného elektrického proudu (obr. 2c). V tabulce 2 je pak vyjádřena účinnost jednotlivých sanačních činidel, vztažená k účinnosti nanočástic nulmocného železa.

5

Tabulka 2

Sanační činidlo	Účinnost odstranění chlorovaných etylenů vztažená k účinnosti odstranění chlorovaných etylenů s použitím nanočástic nulmocného železa bez povrchové modifikace		
	Cis-1,2-dichloretylen (cis-1,2-DCE)	Perchloretylen (PCE)	Trichloretylen (TCE)
Nanočástice nulmocného železa	100	100	100
Nanočástice nulmocného železa povrchově modifikované kyselinou akrylovou a mikročástice nulmocného železa (poměr 1:2)	76	46	84
Nanočástice nulmocného železa povrchově modifikované kyselinou akrylovou a mikročástice nulmocného železa (poměr 1:2) + přívod stejnosměrného elektrického proudu (elektrický potenciál 50 V/m)	100	129	101

10

PATENTOVÉ NÁROKY

15

1. Způsob in-situ sanace horninového prostředí kontaminovaného škodlivými chemickými sloučeninami, **vyznačující se tím**, že do kontaminovaného horninového prostředí se alespoň jedním aplikačním vrtem aplikuje vodná suspenze obsahující směs samostatných nanočástic a mikročástic nulmocného železa ve vzájemném poměru 1:9 až 1:1.

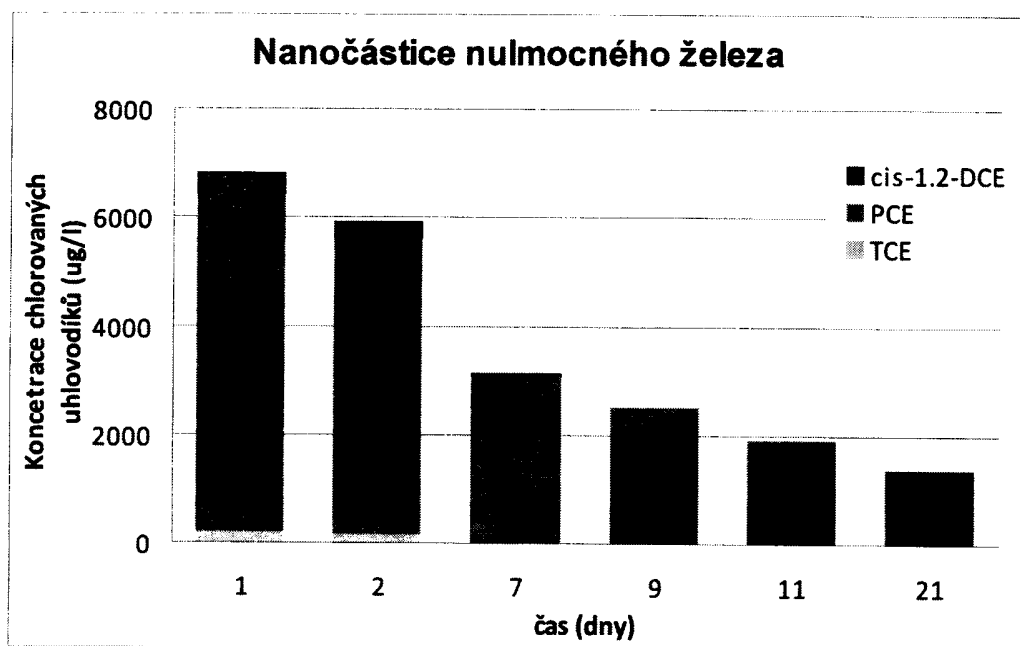
20

2. Způsob in-situ sanace podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že nanočástice nulmocného železa mají velikost 50 až 250 nanometrů a mikročástice nulmocného železa mají velikost 10 až 350 mikrometrů.

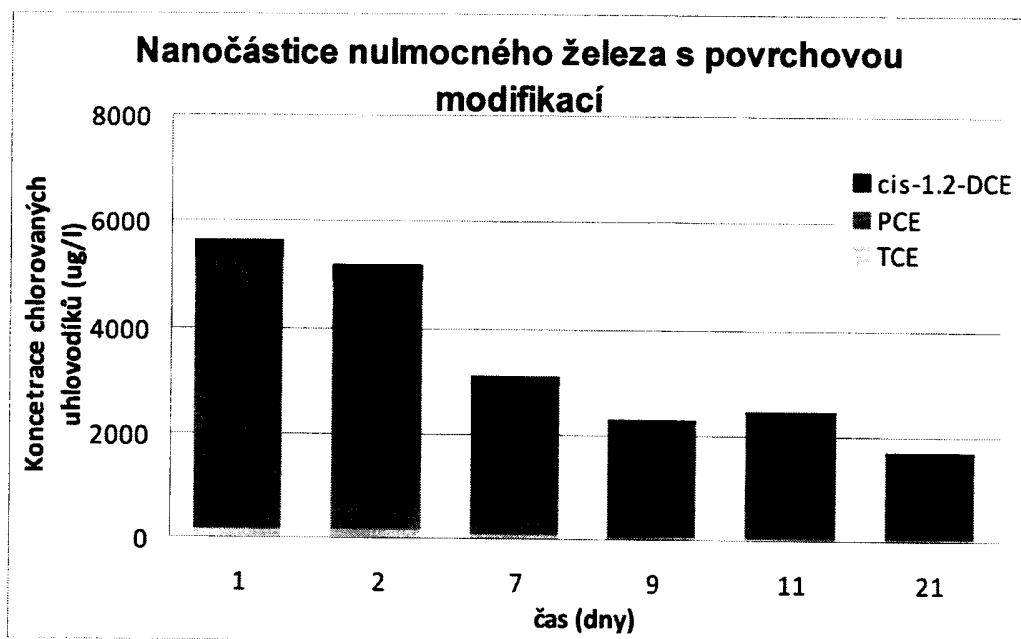
3. Způsob in-situ sanace podle nároku 1 nebo 2, **vyznačující se tím**, že nanočásticím a/nebo mikročásticím nulmocného železa se před jejich aplikací do horninového prostředí a/nebo během ní sníží povrchový náboj pasivací jejich povrchu kyselinou polymaleinovou, anorganickým a/nebo biodegradovatelným organickým stabilizátorem, nebo řízenou oxidací.
4. Způsob in-situ sanace podle libovolného z předcházejících nároků, **vyznačující se tím**, že před a/nebo během a/nebo po aplikaci vodné suspenze obsahující nanočástice a mikročástice nulmocného železa se do horninového prostředí prostřednictvím alespoň jedné anody a alespoň jedné katody začne přivádět stejnosměrný elektrický proud, přičemž se mezi alespoň jednou anodou a alespoň jednou katodou vytvoří elektrické pole s intenzitou 0,5 až 100 V/m.
5. Způsob in-situ sanace podle nároku 4, **vyznačující se tím**, že elektrostatické síly působící na nanočástice a mikročástice nulmocného železa se nastavením přiváděného stejnosměrného elektrického proudu uvedou do rovnováhy se silami, kterými na ně působí proudící podzemní voda, čímž se tyto nanočástice a mikročástice stabilizují na předem zvoleném místě.

20

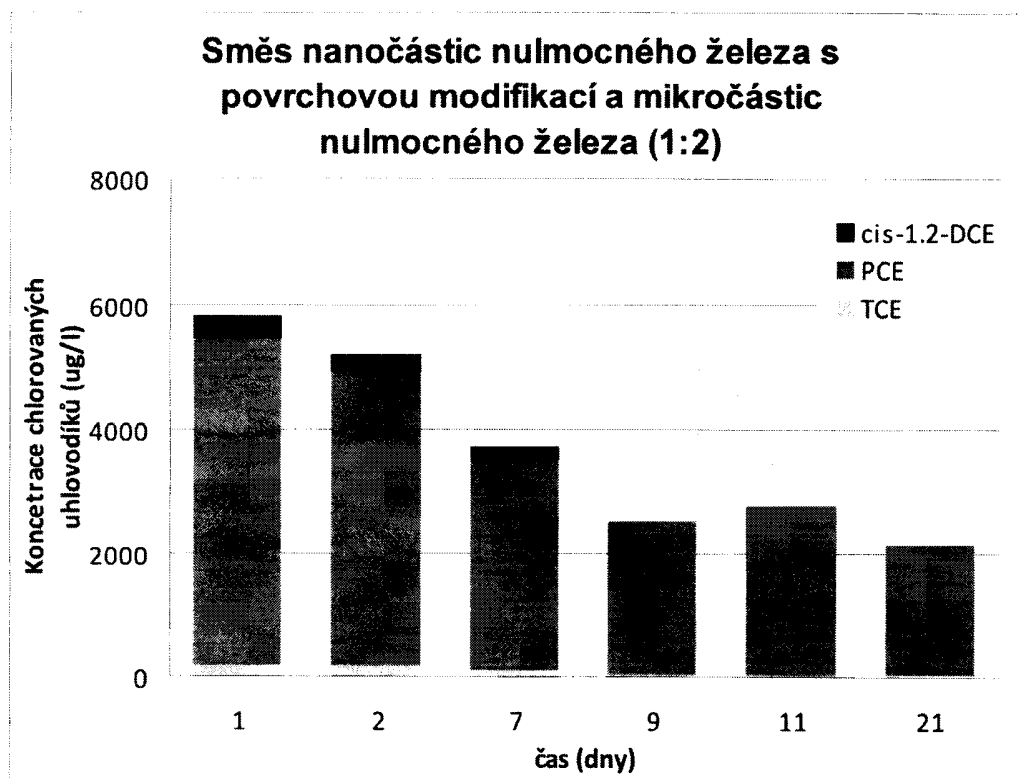
4 výkresy



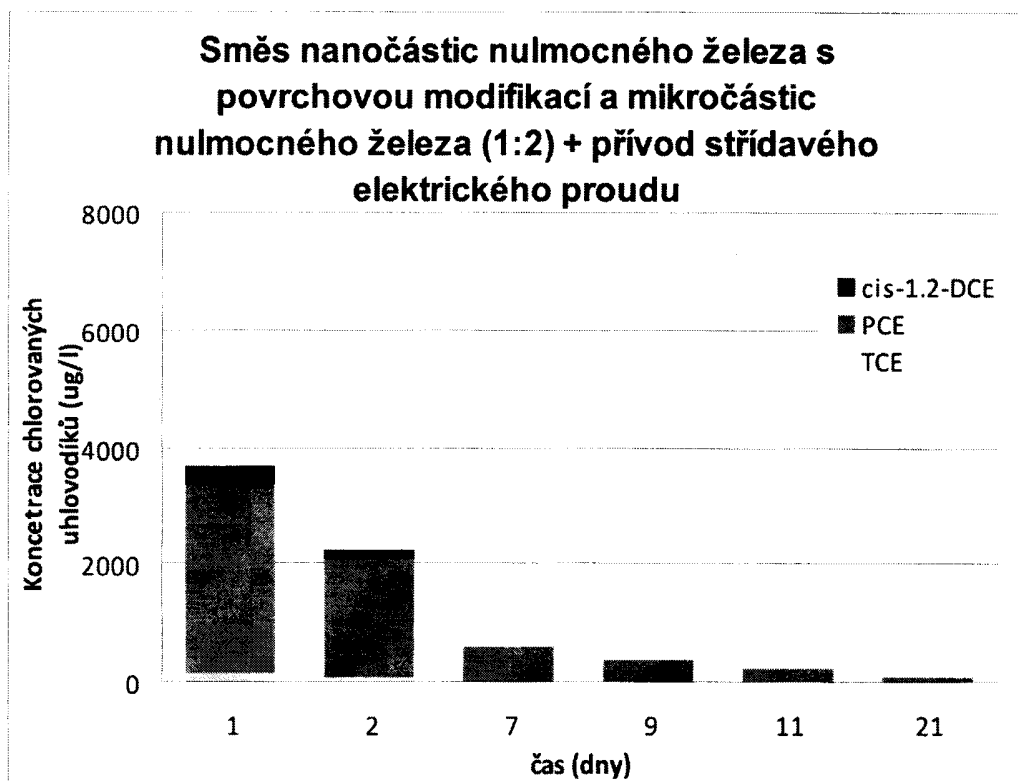
Obr. 1a



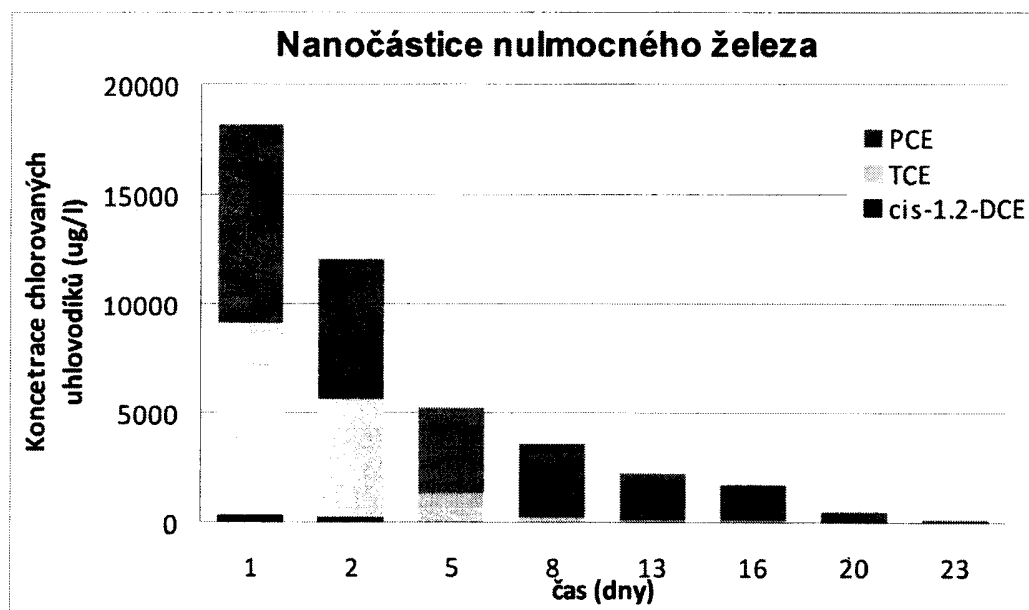
Obr. 1b



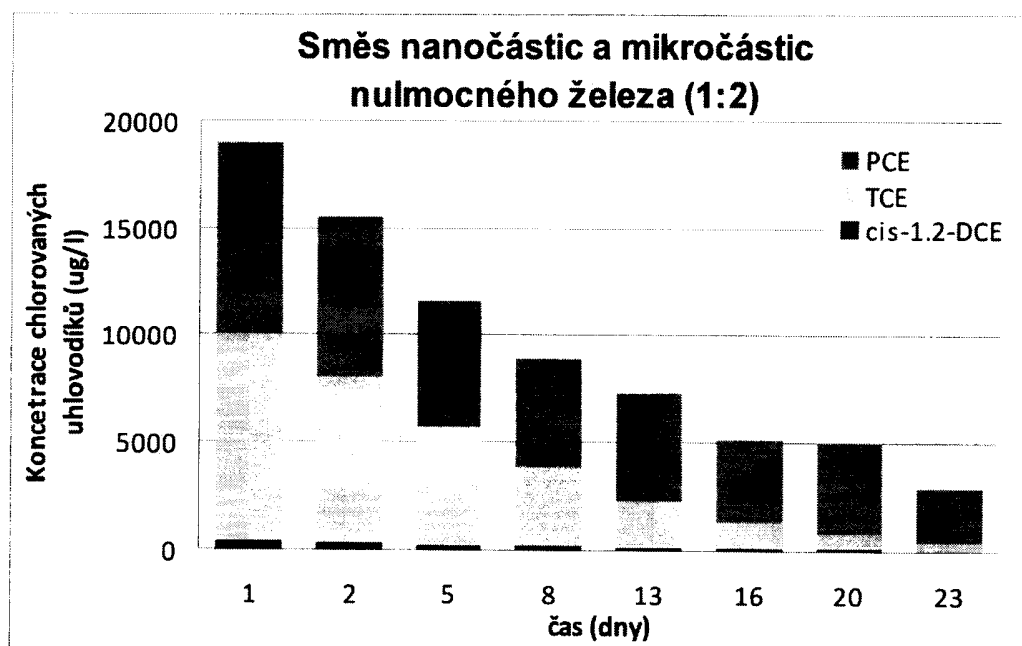
Obr. 1c



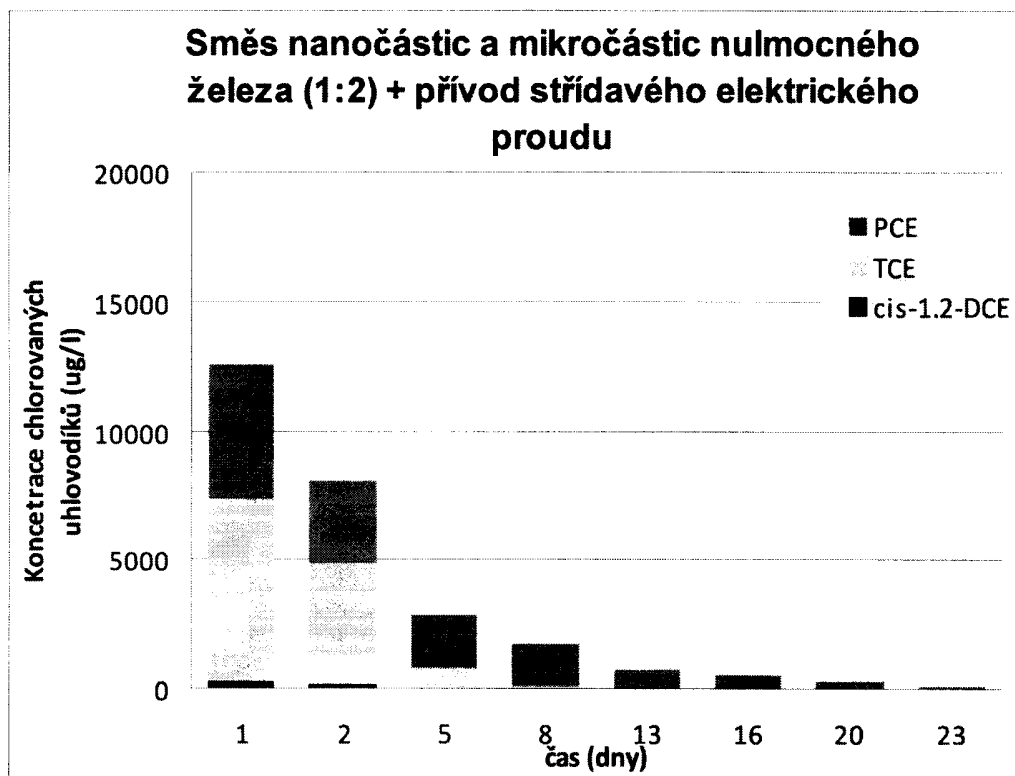
Obr. 1d



Obr. 2a



Obr. 2b



Obr. 2c

Konec dokumentu
